

Jahrbuch der  
Heinrich-Heine-Universität  
Düsseldorf

*Heinrich Heine*  
HEINRICH HEINE  
UNIVERSITÄT  
DÜSSELDORF

2006/2007

*Heinrich Heine*



**Jahrbuch der  
Heinrich-Heine-Universität  
Düsseldorf  
2006/2007**



**Jahrbuch der  
Heinrich-Heine-Universität  
Düsseldorf  
2006/2007**

**Herausgegeben vom Rektor  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Univ.-Prof. Dr. Dr. Alfons Labisch**

**Konzeption und Redaktion:  
Univ.-Prof. em. Dr. Hans Süßmuth**

© Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 2007  
Einbandgestaltung: Wiedemeier & Martin, Düsseldorf  
Titelbild: Schloss Mickeln, Tagungszentrum der Universität  
Redaktionsassistent: Georg Stüttgen  
Beratung: Friedrich-K. Unterweg  
Satz: Friedhelm Sowa, L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Herstellung: WAZ-Druck GmbH & Co. KG, Duisburg  
Gesetzt aus der Adobe Times  
ISBN 3-9808514-5-1

## Inhalt

<b>Vorwort des Rektors</b> .....	11
<b>Gedenken</b> .....	17
<b>Rektorat</b> .....	19
ANNIKA MORCHNER, RAIMUND SCHIRMEISTER und ALFONS LABISCH (Rektor) Der Corporate-Identity-Prozess an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf .....	21
ULF PALLME KÖNIG (Kanzler) Grundsätzliche Überlegungen zu Perspektiven der Zentralen Universitäts- verwaltung der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf im Zuge des Hoch- schulfreiheitsgesetzes .....	29
<b>Medizinische Fakultät</b>	
<i>Dekanat</i> .....	53
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i> .....	55
BERND NÜRNBERG (Dekan) Chancen und Herausforderungen einer sich wandelnden Hochschulmedizin	63
ANTONIA M. JOUSSEN Wieder lesen können? Möglichkeiten und Grenzen in der Therapie der altersbedingten Makuladegeneration .....	69
MICHAEL SCHÄDEL-HÖPFNER und JOACHIM WINDOLF Handchirurgie – Ein neues Fachgebiet am Universitätsklinikum Düsseldorf	83
UTE SPIEKERKÖTTER und ERTAN MAYATEPEK Angeborene Störungen der Fettsäureoxidation – Erfolge des Neugeborenen Screenings, Mausmodelle und Pathogenese .....	93
RÜDIGER E. SCHARF, ANDREA GERHARDT, VOLKER R. STOLDT und RAINER B. ZOTZ Klinische und experimentelle Thromboseforschung – Genetische Deter- minanten, molekulare Mechanismen und therapeutische Strategien bei thrombotischen Komplikationen .....	105

STEPHAN ROTH, HANS GEORG BENDER, WILFRIED BUDACH, PETER FEINDT, HELMUT ERICH GABBERT, RAINER HAAS, DIETER HÄUSINGER, WOLFRAM TRUDO KNOEFEL, CAROLIN NESTLE-KRÄMLING, HANS-JAKOB STEIGER, JÖRG SCHIPPER und KLAUS-WERNER SCHULTE	
Aktuelle Entwicklungen der interdisziplinären Krebstherapie .....	127
NORBERT GATTERMANN	
Eröffnung der Universitätstumorambulanz .....	155
<b>Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät</b>	
<i>Dekanat</i> .....	163
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i> .....	165
PETER WESTHOFF (Dekan)	
Die Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät und die Herausforderungen der Zukunft .....	179
DETLEV RIESNER	
Infektiöse Moleküle: Viroide und Prionen .....	183
GEORG GROTH	
Strukturbestimmung von Proteinen als Schlüssel zum molekularen Mechanismus .....	215
THOMAS J. J. MÜLLER	
Multikomponenten- und Dominoreaktionen in der diversitätsorientierten Organischen Synthese .....	227
BETTINA M. PAUSE	
Emotionale Kommunikation mittels chemischer Signale .....	245
<b>Philosophische Fakultät</b>	
<i>Dekanat</i> .....	255
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i> .....	257
ULRICH VON ALEMANN (Dekan)	
Die Zukunft der Düsseldorfer Geistes- und Sozialwissenschaften: Zwischen Humboldt und Henkel, Heine und Heute .....	261
DIETRICH BUSSE	
Sprache – Kognition – Kultur	
Der Beitrag einer linguistischen Epistemologie zur Kognitions- und Kulturwissenschaft .....	267
PETER MATUSSEK	
Stille Blicke. Zur Naturlyrik des ‚vorkritischen‘ Goethe .....	281

GERHARD VOWE	
Mediatisierung? Mediendemokratie? Mediokratie?	
Ein theoretischer Ansatz auf dem Prüfstand .....	295
PETER H. HARTMANN und INGA HÖHNE	
Freizeitmuster und soziale Strukturen in Düsseldorf –	
Ein Weg zur Bestimmung neuer Zielgruppen.....	311
RALPH WEISS	
Nach dem „Deutschen Sommermärchen“ zurück im alltäglichen Politik-	
verdruss – Wie Medien politische Stimmungslagen beeinflussen und von	
welchen Kontexten der Medieneinfluss abhängt .....	333
<b>Gastbeitrag</b>	
ULRICH VON ALEMANN	
Vorwort zum Gastbeitrag von Lothar Schröder .....	349
LOTHAR SCHRÖDER	
Heinrich Heine: „Die Pragueise“ (1824) oder:	
Rekonstruktion eines spektakulären Handschriftenfonds .....	351
<b>Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät</b>	
<i>Dekanat</i> .....	361
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i> .....	363
CHRISTOPH J. BÖRNER (Dekan)	
Strategische Positionierung und Profilierung von Universitäten	
und Fakultäten aus betriebswirtschaftlicher Sicht .....	365
H. JÖRG THIEME	
Soziale Marktwirtschaft – Denkfehler oder Gestaltungsdefekte? .....	381
GUIDO FÖRSTER	
Steuerliche Probleme bei der Abfindung von Pensionszusagen an	
Gesellschafter-Geschäftsführer einer GmbH .....	391
<b>Juristische Fakultät</b>	
<i>Dekanat</i> .....	407
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i> .....	409
JOHANNES DIETLEIN (Dekan)	
Die Düsseldorf Law School – Innovation im Zeichen des Hochschulfrei-	
heitsgesetzes .....	413
DIRK OLZEN	
Das Dr. med. Micheline Radzyner-Institut für Rechtsfragen der Medizin....	419

KARSTEN ALTENHAIN und MICHAEL HAIMERL Die Praxis der Urteilsabsprachen in Wirtschaftsstrafverfahren – Ergebnisse eines drittmittelfinanzierten juristischen Forschungsprojekts .....	421
DIRK LOOSCHELDERS und LOTHAR MICHAEL Zur Gründung eines Instituts für Versicherungsrecht .....	437
JOHANNES DIETLEIN Interessenkonflikte bei der Besetzung von Sparkassengremien .....	443
<b>Gesellschaft von Freunden und Förderern der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf e.V.</b>	
OTHMAR KALTHOFF Jahresbericht 2006 .....	469
<b>Forscherverbünde der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf</b>	
ANDREA VON HÜLSEN-ESCH, MONIKA GOMILLE, HENRIETTE HERWIG, CHRISTOPH AUF DER HORST, HANS-GEORG POTT, JOHANNES SIEGRIST und JÖRG VÖGELE Kulturelle Variationen und Repräsentationen des Alter(n)s .....	473
<b>Nachwuchsforschergruppen an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf</b>	
ANNETTE M. SCHMIDT Magnetoaktive weiche Materie – Von der Kombination magnetischer Zwerge mit flexiblen Kettenmolekülen .....	491
<b>Institute an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf</b>	
<b><i>Das Düsseldorfer Institut für Außen- und Sicherheitspolitik</i></b>	
RALPH ALEXANDER LORZ und RAINER WINKLER Das Düsseldorfer Institut für Außen- und Sicherheitspolitik – Ein unabhängiges interdisziplinäres Forum an der Heinrich-Heine-Universität .....	505
<b><i>Institut „Moderne im Rheinland“</i></b>	
GERTRUDE CEPL-KAUFMANN Der „Arbeitskreis zur Erforschung der Moderne im Rheinland“ als An-Institut an der Heinrich-Heine-Universität .....	515
<b>Kooperationen der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf</b>	
<b><i>Konfuzius-Institut Düsseldorf</i></b>	
PETER HACHENBERG und LI XUETAO Das Konfuzius-Institut Düsseldorf an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf e.V. – Gründung, Programm und Perspektiven .....	533

## **Ausgründungen aus der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf**

KARL-ERICH JAEGER, WERNER HUMMEL und THORSTEN EGGERT evocatal GmbH – Eine neue Biotech-Firma aus der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf .....	545
--	-----

## **Zentrale Einrichtungen der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf**

### *Universitäts- und Landesbibliothek*

IRMGARD SIEBERT Die Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf als Teil der Landesbibliotheksstruktur in Nordrhein-Westfalen .....	555
---	-----

### *Zentrum für Informations- und Medientechnologie*

STEPHAN OLBRICH und SEBASTIAN MANTEN Hochleistungsrechnen und parallele Programmierung: Service für sowie Gegenstand von Forschung und Lehre .....	575
--	-----

## **Geschichte der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf**

MAX PLASSMANN <i>Public Private Partnership</i> in der Nachkriegszeit – Das Rheinisch-Westfälische Institut für Übermikroskopie und die Medizinische Akademie Düsseldorf .....	593
---	-----

## **Forum Kunst**

ANDREA VON HÜLSEN-ESCH Zum Sterben schön! Alter, Totentanz und Sterbekunst von 1500 bis heute – Eine Ausstellungsreihe in Nordrhein-Westfalen von September 2006 bis April 2007 .....	605
--	-----

## **Chronik der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf**

ROLF WILLHARDT Chronik 2006/2007 .....	635
---	-----

<b>Campus-Orientierungsplan</b> .....	653
---------------------------------------	-----

<b>Daten und Abbildungen aus dem Zahlenspiegel der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf</b> .....	659
--	-----

<b>Autorinnen und Autoren</b> .....	673
-------------------------------------	-----



# STEPHAN OLBRICH und SEBASTIAN MANTEN

## Hochleistungsrechnen und parallele Programmierung: Service für sowie Gegenstand von Forschung und Lehre

### Hochleistungsrechnen – Bedeutung im Hochschulbereich

Seit dem Wechsel in der Leitung des ZIM (Zentrum für Informations- und Medientechnologie<sup>1</sup>) werden dort nach positiver Begutachtung seitens der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) die folgenden, im HBFV-Verfahren finanzierten Großgerätemaßnahmen besonders intensiv vorangetrieben:

- Verbesserung des Campusnetzes – u. a. Backbone mit 10 Gbit/s Ethernet;
- Server- und Storage-Infrastruktur – inkl. Virtualisierung, Backup und Archivsystem;
- Hochleistungsrechner – ein Parallelrechner mit ca. 2 TFlop/s<sup>2</sup> Rechenleistung.

Dieser Beitrag beleuchtet Hintergründe und Motivation zum Punkt (c) und geht auf dessen Realisierung an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf ein. Die leistungsfähigen und hochverfügbaren Basisinfrastrukturen (a) und (b) dienen insbesondere der zuverlässigen und hochwertigen Unterstützung dezentraler Anwendungen, wie z. B. einem hochschulweiten File-Service. Sie bilden aber auch eine Grundlage für das Hochleistungsrechnen. Die Gesamtheit dieser Maßnahmen versetzen das ZIM in die Lage, die wesentlichen technischen Dienste gemäß dem Stand der Technik und qualitativ den heutigen Anforderungen entsprechend anzubieten. Die erheblichen Lücken, die durch die seit acht bis zehn Jahren nur notdürftig erfolgte Fortschreibung entstanden sind, werden hiermit weitgehend gefüllt.

Das Thema *Hochleistungsrechnen* (englisch: *High-Performance Computing* – HPC) ist ein Spezialgebiet des computergestützten Rechnens, das gemeinhin den Arbeitsfeldern von Großforschungseinrichtungen zugerechnet wird, an denen besonders hoher Bedarf an Rechenleistung besteht und an denen konzentriertes Know-how bezüglich des Betriebes und der Programmierung von Hochleistungsrechnern vorhanden ist.

In Deutschland sind dazu die folgenden drei Zentren für das so genannte Höchstleistungsrechnen zu nennen:

- Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) in Garching bei München;
- John-von-Neumann-Institut für Computing (NIC) in Jülich<sup>3</sup>;
- Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS).

<sup>1</sup> Das ehemalige Universitätsrechenzentrum wurde im Februar 2007 mit Inkrafttreten eines IKM-Versorgungskonzepts (Information, Kommunikation und Medien) der Heinrich-Heine-Universität in ZIM – Zentrum für Informations- und Medientechnologie – umbenannt (vgl. <http://www.zim.uni-duesseldorf.de>).

<sup>2</sup> Die Rechenleistung wird in Gleitkomma-Operationen je Sekunde (englisch: *Floating-Point Operations per Second* – Flop/s) gemessen. 1 GFlop/s = 10<sup>9</sup> Flop/s, 1 TFlop/s = 10<sup>12</sup> Flop/s, 1 PFlop/s = 10<sup>15</sup> Flop/s.

<sup>3</sup> Pressemitteilung des Forschungszentrums Jülich vom 12.11.2007: „Jülichs neuer Supercomputer JUGENE ist schnellster zivil genutzter Rechner der Welt und belegt damit Platz 2 der Weltrangliste.“ (167 TFlop/s)

Am 13. April 2007 gründeten diese Rechenzentren das *Gauss Centre for Supercomputing* (GCS<sup>4</sup>), den größten Höchstleistungsrechnerverbund in Europa. Die drei nationalen Höchstleistungsrechenzentren organisieren eine Beschaffungsspirale, um in kurzen Zyklen an jeweils einem Standort in Deutschland Leistung auf aktuellem Niveau zur Verfügung stellen zu können, und bilden die Spitze einer HPC-Versorgungspyramide (vgl. Abb. 1).

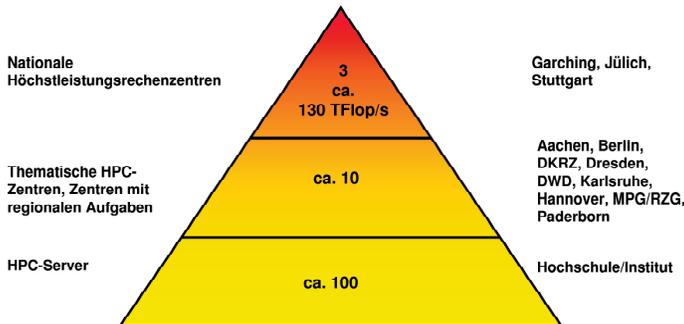


Abb. 1: HPC-Versorgungspyramide in Deutschland – je Ebene wird der Finanzierungsbedarf mit 270 Mio. € über fünf Jahre abgeschätzt (vgl. Hegering 2007). Das Fundament dieser Pyramide bilden die in den Universitäten installierten Hochleistungsrechner und deren Vor-Ort-Service, z. B. an der Heinrich-Heine-Universität.

Rechenleistung auf höchstem Niveau ist Voraussetzung für die Spitzenforschung, um Innovationen in Wissenschaft und Wirtschaft zu schaffen. Hoch- und Höchstleistungsrechner bilden insbesondere in den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen ein wichtiges Werkzeug zum Erkenntnisgewinn durch den Einsatz von *Simulation Sciences*. Dabei werden zunehmend so genannte Problemlösungsumgebungen (englisch: *Problem Solving Environment* – PSE) verwendet, in denen numerische Simulations- und Visualisierungssysteme über ein leistungsfähiges Datennetz gekoppelt werden. Das so realisierte virtuelle Labor eignet sich zur explorativen Analyse komplexer Phänomene, die sich durch Beobachtungen in realen Experimenten nur schwer oder gar nicht erschließen lassen, z. B. wegen zu kleiner oder zu großer Zeit- oder Größenmaßstäbe, potenzieller Gefahren oder aus Wirtschaftlichkeitsgründen. *Simulation Sciences* spielen bereits eine Schlüsselrolle für die Forschung und bringen als dritte Säule neben Theorie und Experiment eine neue Qualität des wissenschaftlichen Arbeitens.

Die Leistungsfähigkeit und die Speicherkapazität einzelner Arbeitsplatzrechner auf dem aktuellen Stand der Technik reichen dabei für eine Vielzahl von Anwendungen bei weitem nicht aus. Je nach Rechenmodell und geforderter Genauigkeit ist eine Steigerung um einen Faktor von mindestens zwei bis drei Größenordnungen notwendig, um Ergebnisse in überschaubarer Zeit zu erzielen, z. B. statt in einem Jahr an einem Tag. In Echtzeitsystemen müssen die Reaktionszeiten auf Sekundenbruchteile reduziert werden, z. B. um die in den gekoppelten Simulations- und Visualisierungsszenarien gewünschten Methoden

<sup>4</sup> Vgl. <http://www.gcfs.de>

der Virtuellen Realität einzubeziehen und einen hohen Grad an Interaktivität erzielen zu können.

Inzwischen hat die Leistungssteigerung durch den Einsatz der bisherigen Maßnahmen auf Einzelprozessoren (englisch: *Central Processing Unit* – CPU) physikalische Grenzen erreicht. Die Integrationsdichte und die Taktrate lassen sich aufgrund der durch die Lichtgeschwindigkeit limitierten Laufzeiten und wegen der überproportional ansteigenden Wärmeentwicklung nicht mehr deutlich steigern. Die einzig mögliche weiterführende Methode ist die *Parallelisierung*. Eine Beschleunigung (englisch: *Speed-Up*) wird dabei durch Aufteilung einer Rechenaufgabe in mehrere Teilaufgaben und gleichzeitige Bearbeitung auf mehreren herkömmlichen Prozessoren erreicht. Diese Entwicklung spiegelt sich auch im Verlauf in Bezug auf die Prozessoranzahl der Rechner in der TOP500-Liste wider (vgl. Abb. 2, links) sowie an der Tatsache, dass in dem weitaus überwiegenden Teil der weltweit leistungsfähigsten 500 Rechner herkömmliche Prozessoren aus der Massenfertigung der Firmen Intel und AMD arbeiten (vgl. Abb. 2, rechts).

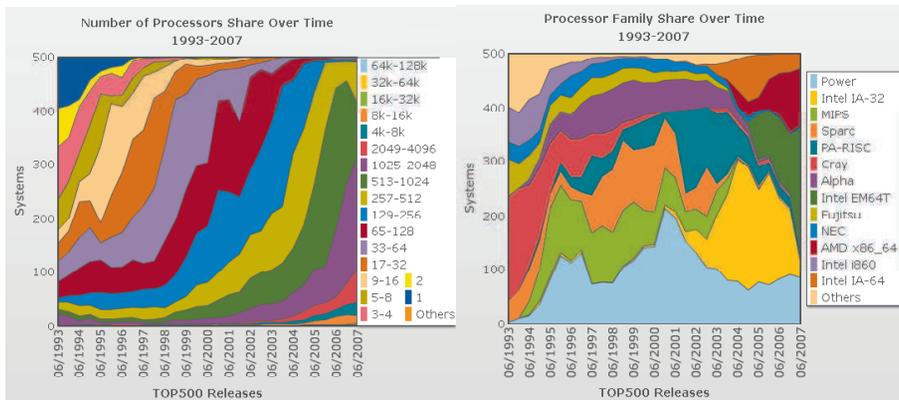


Abb. 2: Entwicklung der Verteilung der Prozessoranzahl und -familien in der Liste der im weltweiten Vergleich 500 leistungsfähigsten Rechner („TOP500-Liste“, vgl. <http://www.top500.org>)

Parallele Rechnerarchitekturen und die zugehörige Programmiermethodik waren bisher Gegenstand sehr spezialisierter Forschung und Entwicklung. Deren Anwendung wiederum war im Wesentlichen auf die effiziente Nutzung einiger weniger Hoch- und Höchstleistungsrechner und auf relativ wenige Anwendungsfelder fokussiert. Inzwischen ist die Parallelisierung jedoch zu einem allgemeinen Thema geworden.<sup>5</sup>

Beispiele im Bereich des Massenmarkts der Prozessor-Chips sind:

- a) Die aktuellen CPUs der Marktführer Intel und AMD beinhalten bereits bis zu vier Prozessor-Kerne (englisch: *Core*; hier: *Quad-Core*) auf einem CPU-Chip.<sup>6</sup> Im April

<sup>5</sup> Vgl. Computer Zeitung (2007).

<sup>6</sup> Vgl. [http://www.computer-nachrichten.de/hardware/artikel/2007/medion\\_halloween\\_special.html](http://www.computer-nachrichten.de/hardware/artikel/2007/medion_halloween_special.html): „Passend zu Halloween sind im Online-Shop von Medion ein Komplett-PC ... für jeweils 666 Euro im Angebot. Der Desktop-Computer ist mit einem Intel Core 2 Quad Q6600 Prozessor mit 2,4 GHz ausgestattet.“

2007 hat Intel im Rahmen seiner Erforschung von „Many-Core“-Prozessoren einen 80-Core-Prototypen „Polaris“ mit einer Rechenleistung von 2 TFlop/s präsentiert.<sup>7</sup>

- b) Die aktuellen Grafikprozessoren (englisch: *Graphics Processing Unit*) des Marktführers Nvidia (GeForce 8800 GPU, seit November 2006) beinhalten 128 Stream-Prozessoren.<sup>8</sup> Auf der Basis dieser GPUs hat die Firma Nvidia im Juni 2007 sein erstes HPC-Produkt „Tesla S 870 GPU Computing Server“ vorgestellt. Vier GPUs sind in einem 19“-1U-Einschub untergebracht (2 TFlop/s, vgl. Abb. 3, rechts), der als so genannter Accelerator über eine PCI-Express-Schnittstelle mit einem herkömmlichen Rechner verbunden wird. Mittels C-basierter Programmierumgebung sowie numerischer Bibliotheken kann so mittels der Acceleratoren eine Vielzahl numerisch intensiver Anwendungen beschleunigt werden.



Abb. 3: Nvidia-Produkte zum High-Performance Computing (Accelerator-Boards): C870 GPU Computing Processor (links, 500 GFlop/s) und S870 Quad-GPU Computing Server (rechts)

Ein Nutzen kann aus den Multicore-CPU's und Accelerator-Produkten allerdings nur dann gezogen werden, wenn die Anwendungen entsprechend implementiert werden. Herkömmliche, für den seriellen Betrieb ausgelegte Software profitiert davon nicht. Im Vergleich zu dieser rasanten technischen Entwicklung und den ebenso wachsenden Anforderungen bezüglich eines adäquaten Software-Engineerings besteht im Bereich der Aus- und Weiterbildung zur Ausnutzung paralleler Rechnerarchitekturen allgemein ein erheblicher Nachholbedarf.

Zu den Auflagen bei der Akkreditierung des Informatik-Studiengangs an der Heinrich-Heine-Universität gehörte daher bereits, das Angebot um Veranstaltungen zum parallelen Rechnen und zur wissenschaftlichen Visualisierung zu ergänzen. Dies geschieht inzwischen im Rahmen des vom ZIM-Direktor neu aufgebauten Lehrstuhls im Institut für Informatik (vgl. Kapitel „HPC als Gegenstand von Forschung und Lehre – Lehrstuhl für IT-Management“).

<sup>7</sup> Polaris ist ein Ergebnis des Intel-Forschungsprojekts „Tera-Scale“ (vgl. <http://www.golem.de/0704/51720.html>).

<sup>8</sup> Vgl. Nvidia-Pressemitteilung vom 8.11.2006 (vgl. [http://www.nvidia.de/object/IO\\_37511.html](http://www.nvidia.de/object/IO_37511.html)): „Neue Unified-Shader-Architektur mit 128 Stream-Prozessoren mit 1,35 GHz, die atemberaubende Floating-Point-Berechnungspower für die ultimative Gaming-Performance bietet.“ (Kursivierung S. O.) Zwar spielt „Gaming-Performance“ im Hochschulbereich keine Rolle, aber die hier eigentlich gemeinte hohe Grafikleistung ist in Szenarien der wissenschaftlichen Ergebnispräsentation sehr erwünscht.

Auch im Bereich der computergestützten Anwendungen bestand an der Heinrich-Heine-Universität der Bedarf einer weiter reichenden Unterstützung. Hierzu trägt das ZIM durch den Aufbau und den Betrieb einer leistungsfähigen Parallelrechner-Infrastruktur bei (vgl. Kapitel „High-Performance Computing am ZIM – Werkzeug für Forschung und Lehre“).

## High-Performance Computing am ZIM – Werkzeug für Forschung und Lehre

Auf der Grundlage eines positiven DFG-Votums zur Beschaffung eines Hochleistungsrechners für die Heinrich-Heine-Universität wurde im Jahr 2006 eine EU-weite Ausschreibung durchgeführt. Wesentliche Anforderungen an den zu beschaffenen Linux-Cluster waren dabei:

- möglichst hohe Rechenleistung bei vorgegebener Investitionssumme;
- Kompatibilität der Einzelprozessoren zu den verbreiteten Intel-/AMD-CPU's;
- ausgewogenes Verhältnis der Anzahl verschiedener Rechenknoten (Hybrid-Cluster):
  - „Thin Nodes“ mit je zwei Stück Dual-Core-CPU's (kostengünstig),
  - „Wide Notes“ mit je vier Stück Dual-Core-CPU's (symmetrisches Multiprocessing);
- performantes Verbindungsnetzwerk für knotenübergreifende parallele Programme;
- eng angebundenes Plattenspeichersystem;
- homogene Betriebs- und Entwicklungsumgebung auf der Basis von Linux.

Der Auftrag zur Lieferung und Installation eines Linux-basierten HPC-Clusters wurde letztlich der Firma Bull erteilt. Mit Mitteln des Bundes (50 Prozent), des Landes (40 Prozent) sowie der Hochschule (zehn Prozent) wurde im Jahr 2007 am ZIM ein Hochleistungsclusterrechner aufgebaut.

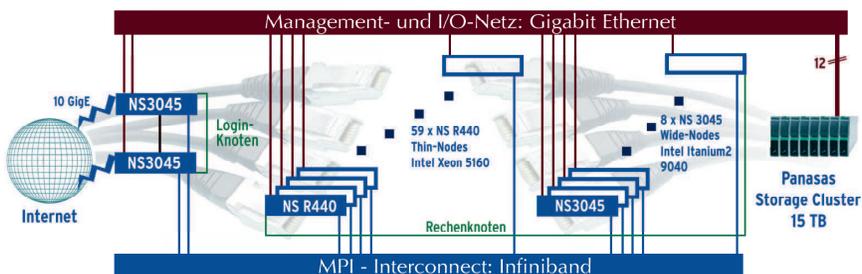


Abb. 4: Systemkonfiguration des Hochleistungsrechners am ZIM: Hybrid-Cluster mit 312 Cores

Der Endausbau des Linux-Hybrid-HPC-Clusters hat folgende Leistungsmerkmale:

- Peak-Performance: 1,928 GFlop/s;
- 59 Thin Nodes: Bull NovaScale R440, je zweimal Intel Xeon Woodcrest Dual-Core 3 GHz, 8 GByte Hauptspeicher;



Abb. 5: Der Hochleistungsrechner am ZIM: vier 19"-Schränke (Stand: November 2007)

- 10 Wide Nodes: Bull NovaScale 3045, je viermal Intel Itanium2 Montecito Dual-Core 1,6 GHz, 32 GByte Hauptspeicher (davon zwei Stück als Login-Knoten);
- zwei 10-Gbit/s-Ethernet-Interfaces zur Unterstützung datenintensiver Einzelanwendungen;
- Verbindungsnetzwerk („MPI-Interconnect“): Infiniband SDR (10 Gbit/s);
- Plattenspeicher: Panasas Storage Cluster mit 15 TByte;
- Betriebssystem: Bull Advanced Server (BAS, basiert auf Red Hat Enterprise Linux).

Der HPC-Cluster wird im Rahmen des Aufbaus in einem Probetrieb bereits von mehreren Instituten der Heinrich-Heine-Universität intensiv genutzt, z. B.:

- Anglistik: Sprachdatenverarbeitung;
- Bioinformatik: Gensequenzanalyse;
- Chemie: Molekülmodellierung;
- Informatik: Hochleistungsvisualisierung;
- Laser- und Plasmaphysik: Magnetfeldberechnung;
- Theoretische Physik: Strömungsdynamik.

Nach kurzer Zeit wurde bereits eine durchschnittliche Auslastung von 70 bis 80 Prozent erzielt. Damit werden die vorherigen Abschätzungen des ZIM zur Bedarfsituation bestätigt. Die HPC-Leistung des ZIM wird künftig auch in dem kooperativen, hochschulübergreifenden Ressourcenverbund Nordrhein-Westfalen<sup>9</sup> angeboten. Dies ist wiederum

<sup>9</sup> Vgl. <http://www.rv-nrw.de>.

Voraussetzung zur Nutzung komplementärer Ressourcen anderer Hochschulrechenzentren des Landes Nordrhein-Westfalen.

Zur Online-Abfrage des Systemzustands – u. a. der Rechenlast auf dem Cluster – wird das Ganglia-System verwendet, eine in der Monitoring-Komponente „NovaScale Master“ der „Bull Advanced Server HPC Edition“ integrierte Open-Source-Software, die aus dem Grid-Computing – dort zur Verwaltung heterogener Rechnerverbünde („Cluster von Clustern“) – stammt.

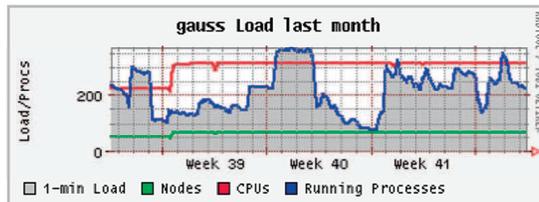


Abb. 6: Lastverlauf des HPC-Clusters am ZIM (Ganglia-Abfrage vom 18.10.2007). Das Diagramm stammt aus einer Online-Abfrage über Ganglia: <https://gauss-1.rz.uni-duesseldorf.de/ganglia/>. Der Anstieg in der roten Kurve (CPUs) zeigt die Konfiguration der zusätzlichen Rechenknoten an, die im Rahmen der dritten – und damit letzten – Installationsstufe in der 39. Kalenderwoche 2007 installiert wurden.

Zur Ergänzung der Services zum Hochleistungsrechnen baut das ZIM – in enger Kooperation mit dem Lehrstuhl für IT-Management – neue Dienste zur Hochleistungsvisualisierung auf. Dabei wird nicht nur der seit über zehn Jahren betriebene Parallelrechner SGI Origin 2000 mit seinem 3D-Grafiksubsystem „Infinite Graphics“ und der auf Shutterbrille basierenden Stereo-Betrachtung abgelöst, sondern auch der 3D-Grafikworkstation-Pool mit SGI-O2-Systemen. Zur 3D-Stereo-Präsentation „vor Ort“ wurde ein PC-basiertes, verleihbares Passiv-Stereo-Großbildprojektionssystem aufgebaut, das bereits mehrfach erfolgreich zum Einsatz gebracht wurde. Die Betrachtung erfolgt dabei mit kostengünstigen Polarisationsbrillen.



Abb. 7: Einsatz der mobilen 3D-Großbildprojektion für Vorträge<sup>10,11</sup> in den Hörsälen 3A und 6G

<sup>10</sup> „Moderner Lasereinsatz in Medizin, Umwelt und Life Science“ (Univ.-Prof. Dr. Hering) im Rahmen der Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft am 21. März 2007, gemeinsam mit Univ.-Prof. Dr. Olbrich (vgl. <http://www.uni-duesseldorf.de/home/Informationen/pressemeldung?nr=6080>).

<sup>11</sup> „Erkenntnisgewinn und -vermittlung durch moderne Informations- und Medientechnologien“ (Univ.-Prof. Dr. Olbrich) im Rahmen des Seminars „Medienmanagement und Medienszene“ (Prof. Dr. Lotsch) am 10. Mai 2007 (vgl. <http://www.uni-duesseldorf.de/home/Informationen/pressemeldung?nr=6368>).

## HPC als Gegenstand von Forschung und Lehre – Lehrstuhl für IT-Management

Nur wenige Universitäten unterstützen „Simulation Science“ bisher explizit, und Lehrveranstaltungen zu den Themen „Hochleistungsrechnen und Parallele Programmierung“ sowie dem dazu eng verknüpften „Wissenschaftliche Visualisierung und Virtuelle Realität“ werden ebenfalls eher selten angeboten. Um dem zunehmenden Bedarf und Interesse entsprechen zu können, wurden diese Fächer seit dem Sommersemester 2007 in das regelmäßige Lehrangebot der Informatik an der Heinrich-Heine-Universität integriert. Dies war möglich, da sich die von Univ.-Prof. Dr. Stephan Olbrich in Personalunion geleiteten Service- bzw. Forschungseinrichtungen „Zentrum für Informations- und Medientechnologie“ (ZIM) und „Lehrstuhl für IT-Management“ (ITM<sup>12</sup>) ohnehin mit den folgenden Schwerpunktthemen beschäftigen:

### *Scientific Computing*

Ziel ist die Entwicklung und Erprobung kollaborativer Problemlösungsumgebungen, in denen eine Kopplung von Simulation und 3D-Visualisierung erfolgt. Wesentlich ist dabei die Ausnutzung von HPCN-Infrastrukturen (High-Performance Computing and Networking) durch Parallelisierung und netzverteilte Partitionierung der Teilaufgaben.

### *Scientific Visualization*

Zur Unterstützung von E-Science- und E-Learning-Anwendungen werden leistungsfähige Algorithmen, Datenmodelle und Anwendungskonzepte für die Analyse komplexer Datensätze entwickelt. Diese werden durch explorative Virtual-Reality-Methoden und HPV-Infrastrukturen (High-Performance Visualization) unterstützt.

Für die Visualisierungsforschung wurde ein *Virtual-Reality-Labor* ausgestattet, in dem dreidimensionale Präsentations- und Interaktionsszenarien entwickelt und erprobt werden können. Dazu gehört eine 3D-Stereo-Großbild-Rückprojektion,<sup>13</sup> ein optisches Trackingssystem der Firma ART sowie Server- und Workstationrechner mit Grafikkarten auf höchstem Leistungsniveau (Nvidia Quadro FX5600). Eine direkte Anbindung zum Campusnetz erfolgt über ein 10-Gbit/s-Ethernet-Interface, um über den Campus verteilte HPC-Simulations- und 3D-Visualisierungsanwendungen erproben zu können.

Durch eine Schenkung der Firma Hewlett-Packard konnte ein *Colormangement- und Visualisierungslabor* aufgebaut werden, das auch Grundlage für erweiterte ZIM-Services ist.

Ein *Multimedia-Seminarraum* mit umfangreicher Audio- und Videotechnik, z. B. zum automatisierten Mitschnitt von Lehrveranstaltungen und zur Integration multimedialer, gegebenenfalls auch dreidimensionaler Inhalte in die Präsenzlehre, befindet sich im Aufbau.

<sup>12</sup> Vgl. <http://www.itm.uni-duesseldorf.de>.

<sup>13</sup> 3D-Projektionstechnik im VR-Labor und im Multimedia-Seminarraum durch die Fa. Datapoint GmbH Aue, in Kooperation mit der 3D-Insight GmbH Chemnitz (<http://www.3d-insight.de>).

## **Kooperationen und Projekte des ZIM sowie des Lehrstuhls für IT-Management**

### **Kooperation mit der Firma Bull**

Für Erprobung und Forschung im Umfeld des HPC-Clusters und der High-Performance Visualization (HPV) wurde während der „International Supercomputing Conference 2007“ ein Vertrag zu einer zunächst auf zwei Jahre ausgelegten Kooperation des ZIM/ITM mit der Firma Bull unterzeichnet.<sup>14</sup> Dieser beinhaltet die Finanzierung eines wissenschaftlichen Mitarbeiters zur gemeinsamen Durchführung von drei Kernprojekten, die u. a. auch zur Verbesserung der ZIM-Services dienen und anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung beinhalten:

1. *Konzepte und Tools für das homogene Management von Bull-Clustern und Bull-Hybrid-Clustern*

Dieses Projekt dient der Entwicklung und Erprobung von Methoden und Werkzeugen zur Administration und Optimierung der an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf eingesetzten High-Performance-Cluster-Lösung von Bull. Die hybride Cluster-Architektur basiert auf einem Rechnernetzwerk aus Front-End-/Management-Einheit und Rechen-Knoten (Compute Nodes) mit Intel-Itanium-2- („Montecito“) bzw. Intel-Xeon- („Woodcrest“) -Prozessoren. Dieser Cluster ist der erste Hybrid-Cluster an deutschen Hochschulen mit homogenem Management auf Basis dieser beiden Intel-Plattformen.

2. *Bull Kompetenz- und Demo-Center*

Das Projekt 2 dient der Errichtung und kontinuierlichen Nutzung eines Kompetenz- und Demo-Centers, in dem die gemeinsamen Entwicklungen und Ergebnisse Interessenten vorgestellt oder für Benchmarks und Kundendemonstrationen genutzt werden können. Vorgesehen ist ferner die Portierung von Anwendersoftwareprodukten auf die Intel-Itanium-2- und Intel-Xeon-Plattformen.

3. *Hochleistungs-Visualisierungslösungen für Scientific Computing*

Das ZIM/ITM bietet im Rahmen des dritten Projektes Services auf dem Gebiet der Computergrafik und Visualisierung an:

Analyse des Standes der Technik in Bezug auf High-Performance-Visualisierung, grafische Aufbereitung von Datensätzen, Bereitstellung des Virtual-Reality-Labors sowie mobiler 3D-Stereo-Visualisierungskomponenten.

### **Kooperation mit dem Institut für Meteorologie und Klimatologie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover**

Zur Visualisierung der außerordentlich großen Datenmengen, die aus hochaufgelösten, zeitabhängigen Simulationsrechnungen resultieren, können traditionelle Verfahren, die auf einem separaten Postprocessing basieren, nicht mehr angewandt werden. Insbesondere

---

<sup>14</sup> Pressemitteilung der Firma Bull am 26.06.2007 (vgl. [http://www.bull.de/presse/2007/2007\\_08.html](http://www.bull.de/presse/2007/2007_08.html)), Pressemitteilung der Heinrich-Heine-Universität am 26.06.2007 (vgl. <http://www.uni-duesseldorf.de/home/Informationen/pressemeldung?nr=6450>).

in Echtzeit gekoppelte, interaktive Visualisierungsszenarien erfordern besondere Skalierungseigenschaften, um den HPC-Speed-Up nicht zu beeinträchtigen. Eine Lösung dieses Problems bietet der Einsatz so genannter verteilter Visualisierungsumgebungen. Die Datenaufbereitung zwecks Visualisierung wird hier schon während der Simulationsrechnungen auf den Rechnern, die diese durchführen, vorgenommen. Parallel werden die generierten Mediendaten zwecks Zwischenspeicherung oder direkter Visualisierung zu anderen Rechnersystemen weitergeleitet.

In dem von Olbrich *et al.* entwickelten Software-Framework DSVR<sup>15</sup> wird ein solcher Ansatz verfolgt. In diesem Zusammenhang hat sich eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Meteorologie und Klimatologie an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover (IMUK) entwickelt.

Das am IMUK implementierte parallelisierte Large-Eddy Simulationsmodell (PALM) ist eine Anwendung zur Simulation instationärer Strömungsphänomene in hoher Auflösung, die für HPC-Infrastrukturen optimiert wurde. PALM arbeitet auf den heutigen Hoch- und Höchstleistungsrechnern mit einem Rechengitter mit bis zu  $10^9$  Datenpunkten ( $1000 \times 1000 \times 1000$ ), wobei an jedem Gitterpunkt eine Vielzahl von Skalar- und Vektorwerten (thermodynamische Zustandsgrößen) gehalten wird. Turbulente Phänomene werden üblicherweise in Zeitschritten gerechnet, deren Anzahl in der Größenordnung von 10.000 liegt. Die rohen Rechenergebnisse weisen daher ein Datenvolumen in der Größenordnung von 100 TByte auf, die – wenn überhaupt – nicht in angemessener Zeit auf Dateien gespeichert werden können.

Es besteht der Wunsch, Simulation und Visualisierung so zu koppeln, dass die zeitabhängigen Skalar- und Vektorfelder in Form eines navigierbaren 3D-Virtual-Reality-Films explorativ untersucht werden können. Dies kann aufgrund der hohen Datenmengen und Rechenaufwände nur durch den Einsatz von parallelen Methoden – nicht nur zur Simulation, sondern auch zum so genannten „Visualization Mapping“<sup>16</sup> – und von Streamingverfahren<sup>17</sup> geschehen.

Zu diesem Zweck ist DSVR als Visualisierungskomponente in PALM integriert worden und wird zurzeit im Rahmen des DFG-Projekts EVITA<sup>18</sup> weiter entwickelt.

In Abbildung 8 sind einige Anwendungsbeispiele von PALM/DSVR dargestellt.

## DSVR – Ein Software-Framework für Simulation und Visualisierung

Mit der netzverteilten Prozesskette „Distributed Simulation and Virtual Reality Environment“ (DSVR) ist ein gut skalierbarer Ansatz implementiert worden, der eine flexible Unterstützung der gewünschten Visualisierungsszenarien bietet: Postprocessing als Teil eines Batchlaufs, Online-Visualisierung zur Betrachtung von Zwischenergebnissen sowie interaktive Simulationssteuerung.<sup>19</sup>

<sup>15</sup> Distributed Simulation and Virtual Reality Environment, vgl. Abschnitt „DSVR – Ein Software-Framework für Simulation und Visualisierung“.

<sup>16</sup> Aufbereitung der Rohdaten in 3D-Szenen; z. B. eingefärbte Schnittflächen, Isooberflächen, Stromlinien.

<sup>17</sup> Zeitlich überlappende Datenerzeugung, -übertragung und -verarbeitung ohne die sonst übliche aufwändige Zwischenspeicherung.

<sup>18</sup> EVITA – Effiziente Methoden zur Visualisierung in tele-immersiven Anwendungen. DFG-Zeichen: OL 241/1-1. Projektleitung: Univ.-Prof. Dr. Stephan Olbrich.

<sup>19</sup> Vgl. Olbrich und Pralle (1999), Olbrich *et al.* (2001), Jensen *et al.* (2002) sowie Olbrich *et al.* (2007a).

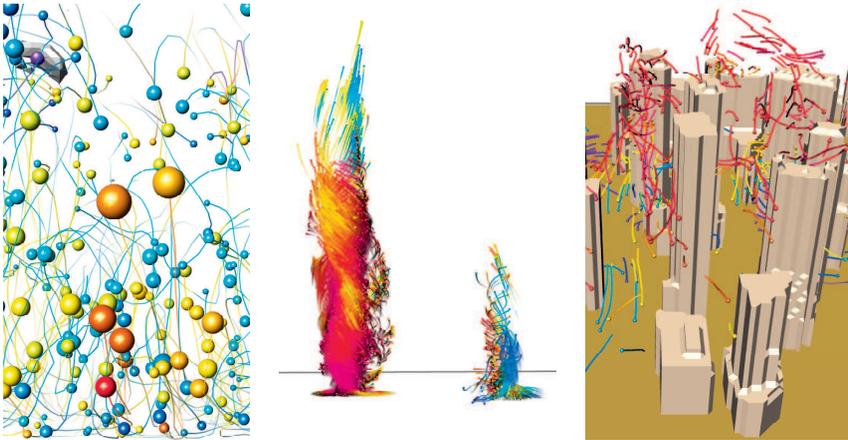


Abb. 8: Nutzung von PALM/DSVR in Simulations- und Visualisierungsanwendungen: (a) Atmosphärische Konvektionsströmungen, (b) Staubteufel, (c) Gebäudeumströmung in Tokio.

Die Prozesskette beinhaltet die folgenden drei Instanzen (vgl. Abb. 9):

1. *Erzeugung von 3D-Szenen* – „3D-Generator“: Hier werden besondere Merkmale aus den Daten extrahiert und visuell repräsentiert. Dies wird durch eine parallele Programmibibliothek auf Basis von MPI<sup>20</sup> unterstützt. Das Datenvolumen der 3D-Szenen ist gegenüber dem der Rohdaten erheblich reduziert.
2. *3D-Streaming-Server*: Die in Schritt 1 erstellten 3D-Szenen werden unmittelbar zu einem Streamingserver übertragen und dort gespeichert. Dieser beinhaltet Funktionen zum Transport, zur Speicherung und zur Ausspielung kontinuierlicher 3D-Medienströme. Er basiert auf den Internet-Protokollen TCP/IP<sup>21</sup> und RTSP<sup>22</sup>.
3. *Präsentation der 3D-Szenen* – „3D-Viewer“: Die 3D-Szenensequenz wird als 3D-Film präsentiert, in dem während der Ausspielung frei navigiert werden kann. Die Implementierung erfolgt als WWW-Browser-Plug-in. Sofern vorhanden, werden stereoskopische 3D-Displays (z. B. Projektion) sowie 3D-Interaktions- und Trackinggeräte (z. B. Space-Mouse, Head-Tracking) unterstützt.

Das DSVR-Framework implementiert auf diese Weise sämtliche Module der abstrakten Visualisierungspipeline (Datenquelle, Filter, Mapper, Rendering, Präsentation) in einem netzverteilten System. Die beschriebenen drei Instanzen sind in Abbildung 9 farbig gekennzeichnet. Die rot und blau eingefärbten Module (3D-Generator bzw. 3D-Viewer) sind 3D-Streaming-Clients, die 3D-Szenensequenzen erzeugen bzw. konsumieren. Sie können in asynchronen (Postprocessing, 3D-Filme *on demand*) oder synchronen (Echtzeit- bzw. „Live“-Visualisierung) Modi betrieben werden. Konzeptionell ist auch ein Rückkanal vor-

<sup>20</sup> Vgl. Gropp *et al.* (2000).

<sup>21</sup> Transmission Control Protocol/Internet Protocol

<sup>22</sup> Real-Time Streaming Protocol

handen, der zur interaktiven Simulationssteuerung (*interactive steering*) eingesetzt werden kann oder zur Fernsteuerung von Filter- oder Mapper-Parametern.

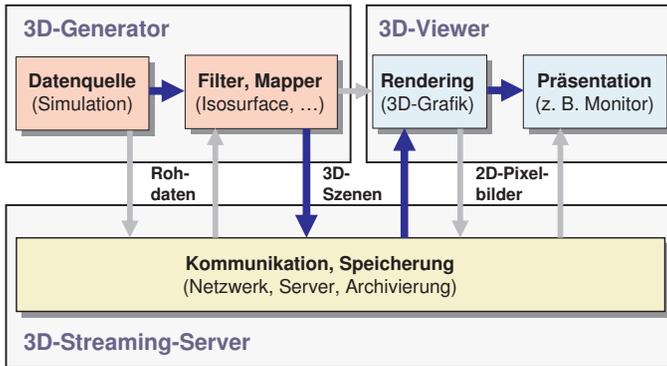


Abb. 9: Die abstrakte Visualisierungspipeline, an der 3D-Schnittstelle explizit partitioniert

### Parallele Isosurface-Extraktion mit integrierter, flexibler Polygonsimplifizierung

Exemplarisch soll im Weiteren eine neue Entwicklung innerhalb des EVITA-Projektes vorgestellt werden, die die effiziente Extraktion von Isoflächen zum Thema hat. Die Isooberfläche (englisch: *Isosurface*) ist ein verbreitetes Mapping-Verfahren zur Visualisierung von Skalarwerten auf einem 3D-Gitter, in Analogie zu den Isolines in 2D (z. B. Isobaren, Isothermen, Höhenlinien). Die Isosurface wird üblicherweise durch ein Dreiecksnetz approximiert. Verglichen mit der Rohdatenmenge –  $O(n^3)$  – ist dabei das Datenvolumen für das Isosurface-Dreiecksnetz –  $O(n^2)$  – deutlich geringer.

Aufgrund von Limitierungen der Kommunikationsverbindung, der Speicherkapazitäten und der Renderingleistung muss die Datenmenge jedoch in bestimmten Fällen noch weiter reduziert werden. Dazu können Methoden zur Polygonsimplifizierung herangezogen werden, die – bei möglichst großer Ähnlichkeit des Ursprungsmodells – eine Vergrößerung des Dreiecksnetzes vornehmen.

Nahe liegend ist daher die Anwendung bekannter Polygonsimplifizierungsverfahren auf die Ergebnisse üblicher Isosurface-Algorithmen. Jedoch ist dieser Ansatz äußerst ineffizient.

Um die Erzeugung und die Speicherung von großen Zwischendateien zu vermeiden, wird in dem DFG-Projekt EVITA der Ansatz verfolgt, zwei bekannte Verfahren eng zu verzahnen. Der Realisierung einer skalierbaren Isosurface-Extraktion<sup>23</sup> liegt der Marching-Cubes-Algorithmus<sup>24</sup> zugrunde, dessen Zwischenergebnisse unmittelbar mit Hilfe eines Vertex-Clustering-Algorithmus<sup>25</sup> reduziert werden.

<sup>23</sup> Vgl. Manten (2007), Manten *et al.* (2007) und Olbrich *et al.* (2007b).

<sup>24</sup> Vgl. Lorensen und Cline (1987).

<sup>25</sup> Vgl. Luebke (2001) sowie Rossignac und Borrel (1993).

Da in den HPC-Szenarien üblicherweise gemäß der jeweiligen Gebietszerlegung das Gesamtgebiet auf Speicherbereiche verschiedener Rechnerknoten verteilt ist, wurde auch eine Parallelisierung in die Implementierung einbezogen.<sup>26</sup> Unser Ansatz basiert auf MPI<sup>27</sup>, das als Standardwerkzeug zur parallelen Programmierung auf Rechnerarchitekturen mit verteiltem Speicher (z. B. Linux-Cluster) eingesetzt wird und im DSVR-Framework bereits integriert ist.

Es wurden zwei parallele Isosurface-Generatoren in Form zusätzlicher DVRP-Bibliotheksmodule entwickelt. Während beim ersten Verfahren die größtmögliche Flexibilität bei der Wahl der parallelen Gebietszerlegung im Vordergrund steht, ist diese im zweiten Ansatz eingeschränkt, dafür wird jedoch die Interprozesskommunikation deutlich reduziert. Beide Ansätze beinhalten einen flexibel konfigurierbaren Polygonreduktionsschritt, so dass sich der jeweils benötigte Grad der Datenreduktion einstellen lässt und Multiresolution-Ansätze ermöglicht werden.

### Paralleler Speed-Up

Zur Performance-Evaluation wurden die implementierten Ansätze auf dem infinibandvernetzten Linux-Cluster des ZIM (Compute-Nodes: Bull NovaScale R440 mit jeweils zwei Intel Dual-Core Xeon-Woodcrest-Prozessoren, 3 GHz) erprobt. Abbildung 10 zeigt den Speed-Up der beiden Ansätze für ein einfaches Testskalarfeld im Vergleich. Zugrunde liegt ein Datengitter mit  $720 \times 720 \times 720$  Punkten. Durch das Clustering –  $3 \times 3 \times 3$ -Clustering bei (a),  $4 \times 4 \times 4$ -Clustering bei (b) – wird eine Reduktion auf zwölf Prozent der vollen Auflösung mit 4,4 Mio. Dreiecken erreicht.

Verglichen mit dem unmodifizierten Marching-Cubes-Algorithmus benötigt unser Verfahren ca. 30 Prozent weniger Rechenzeit, im Wesentlichen wegen der geringeren Anzahl zu generierender Grafikprimitive. Dies bestätigt unsere ursprüngliche Annahme eines Effizienzgewinns.

Die Laufzeit auf einem Prozessor betrug  $T^* = 5.5s$ , auf  $p$  Prozessoren:  $T(p) = \frac{T^*}{S(p)}$ .

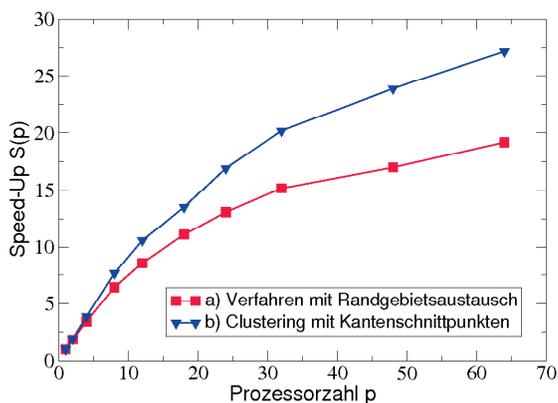


Abb. 10: Speed-Up  $S(p)$  bei der Berechnung einer Isosurface im Skalarfeld „Barth's Sextic“

<sup>26</sup> Vgl. Langis *et al.* (2000) sowie Schmidt und Rasch (2000).

<sup>27</sup> Vgl. Gropp *et al.* (2000).

### Datenreduktion und Qualität der Ergebnisse

Die Ergebnisse einer Studie der Clustering-Parameter sind in Abbildung 11 dargestellt. Dabei wurde ein Datengitter mit  $240 \times 240 \times 240$  Punkten verwendet. Die Dreiecksanzahl ist in Prozent angegeben, relativ zur ursprünglichen Marching-Cubes-Isosurface (430.000 Dreiecke). Mittels  $dxdxd$ -Clustering wird die Dreiecksanzahl typischerweise auf ca. das  $d^{-2}$ -Fache reduziert. Bis zum  $4 \times 4 \times 4$ -Clustering bleibt das Erscheinungsbild der ursprünglichen Oberfläche im Wesentlichen erhalten. Immerhin werden dabei bereits ca. 94 Prozent der Datenmenge reduziert.

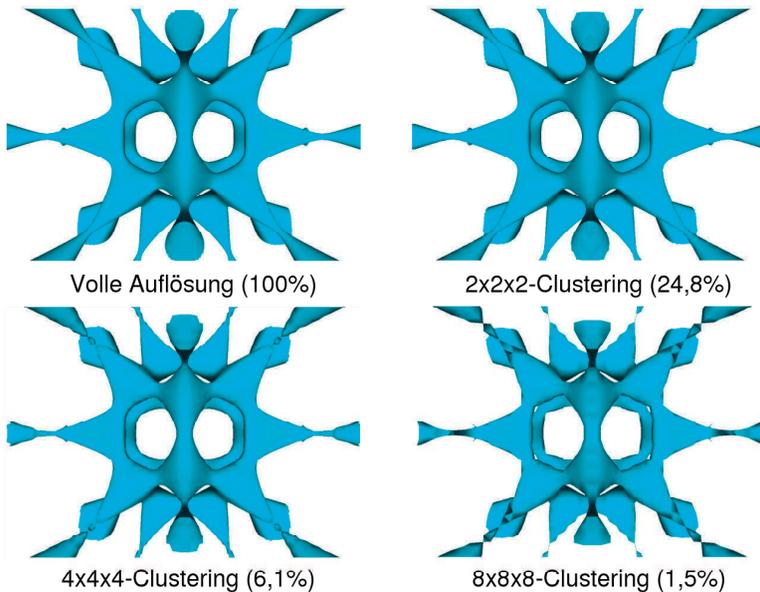


Abb. 11: Parameterstudie zur Isosurface im Skalarfeld „Barth's Sextic“ mit Algorithmus (a)

### Literatur

- COMPUTER ZEITUNG (2007). „Zwang zur Parallelverarbeitung erfasst Computer-Massenmarkt“, *Computer Zeitung* 29 (16. Juli 2007), 10.
- GROPP, W., E. LUSK und A. SKJELLUM (2000). *Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface*. Cambridge, MA.
- HEGERING, H.-G. (2007). „Höchstleistungsrechnen in Deutschland: Gauss-Zentrum, HPC-Allianz, PACE“. Vortrag zur ZKI-Tagung am 11.09.2007, Wilhelmshaven. [http://www.fh-ooe.de/zki/downloads/141/gcs\\_hgh.pdf](http://www.fh-ooe.de/zki/downloads/141/gcs_hgh.pdf)
- JENSEN, N., S. OLBRICH, H. PRALLE und S. RAASCH (2002). *An efficient system for collaboration in tele-immersive environments*. 4<sup>th</sup> Eurographics Workshop on Parallel Graphics and Visualization, in: D. BARTZ *et al.* (Hrsg.). *Parallel Graphics and Visualization*, 123–131.
- LANGIS, C., G. ROTH und F. DEHNE (2000). „Mesh Simplification in Parallel“, in: *Proceedings*

- of the 4<sup>th</sup> International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing (ICA3PP 2000), 281–290.
- LORENSEN, W. E. und H. E. CLINE (1987). „Marching cubes: A high resolution 3d surface construction algorithm“, *Computer Graphics* 21(4), 163–169.
- LUEBKE, D. P. (2001). „A Developer’s Survey of Polygonal Simplification Algorithms“, *IEEE Computer Graphics and Applications* 21(3), 24–35.
- MANTEN, S. (2007). *Isosurface-Extraktion mittels parallelisierter, eng gekoppelter Marching-Cube- und Vertex-Clustering-Algorithmen*. Diplomarbeit, Fachbereich Informatik der Fernuniversität Hagen. [http://www.itm.uni-duesseldorf.de/Dokumente/Diplomarbeit\\_Manten.pdf](http://www.itm.uni-duesseldorf.de/Dokumente/Diplomarbeit_Manten.pdf)
- MANTEN, S., N. JENSEN und S. OLBRICH (2007). „Parallele Isosurface-Extraktion mit integrierter flexibler Polygonsimplifizierung“. 4. Workshop „Virtuelle und Erweiterte Realität“ der GI-Fachgruppe VR/AR, Bauhaus-Universität Weimar. 15.07.2007.
- OLBRICH, S., S. RAASCH, S. MANTEN und G. GAUS (2007a). „A Parallelized Streaming Framework for Simulation and Visualization Grids“. Research Poster, International Supercomputing Conference 2007, Dresden. 26. bis 28.06.2007.
- OLBRICH, S., und MANTEN (2007b). „Scalable Isosurface Extraction in a Parallelized Streaming Framework for Interactive Simulation and Visualization“. 10<sup>th</sup> International Conference on Humans and Computers, Düsseldorf. 13. bis 15.07.2007.
- OLBRICH, S., H. PRALLE und S. RAASCH (2001). „Using streaming and parallelization techniques for 3d visualization in a high-performance computing and networking environment“. HPCN 2001 – International Conference on High Performance Computing and Networking, in: *LNCS*, Vol. 2110, Berlin und New York.
- OLBRICH, S. und H. PRALLE (1999). „Virtual Reality Movies – Real-Time Streaming of 3D Objects“, in: *Computer Networks - The Challenge of Gigabit Networking (Selected papers from the TERENA-NORDUnet Networking Conference 1999, June 7-10, 1999, Lund, Sweden)*. München u. a., Vol. 31, No. 21.
- ROSSIGNAC, J. und P. BORREL (1993). „Multi-resolution 3d approximations for rendering complex scenes“, in: *Geometric Modeling in Computer Graphics*, 455–465.
- SCHMIDT, O. und M. RASCH (2000). „Parallel Mesh Simplification“, in: *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA 2000)*, 1361–1367.

